

Srážky světla na LHC

Michal Hostonský
Tomáš Jakubec
Martin Malý

Gym. Na Vítězné pláni
Gym. Trutnov
ISŠT Mělník

mhostonsky@atlas.cz
ja248@seznam.cz
HarryMatin@seznam.cz

Abstrakt:

Četli jste někdy knihu od Dana Browna s názvem Andělé a Démoni a zajímalo vás někdy, jak doopravdy probíhají pokusy na urychlovači částic LHC? Závratné množství antihmoty, schopné zničit Vatikán zde sice nenalezneme, ale pokusy v centru zájmu dnešních vědců, zabývající se srážkami částic jsou jistě také velmi fascinující. Proudění částic letící proti sobě v závratných rychlostech a pozorování, co se s nimi stane, pokud je necháme srazit, se stalo terčem zájmu mnoha světově proslulých fyziků. Proto jsme se také rozhodli, vyzkoušet si, co jejich práce obnáší.

1 Úvod

Jako náš miniprojekt jsme si zvolili analýzu dat srážek světla, které byly zaznamenány na urychlovači částic LHC v Ženevě, Švýcarsku. Při analyzování dat jsme si kladli za cíl porovnat námi vyhodnocená data s teoretickým předpokladem neuvažujícím vlastní stínění gluonů. Naším úkolem tedy bylo dokázat, či naopak vyvrátit existenci vlastního gluonového stínění.

2 Hledání gluonového stínění

- **Představení**

Náš projekt se opírá o data získaná detektorem ALICE, instalovaném na největším urychlovači částic LHC nacházejícího se nedaleko Ženevy ve Švýcarsku. Hlavním úkolem tohoto detektoru je pozorování srážek iontů olova a simulovat tak podmínky panující v raných fázích našeho vesmíru.

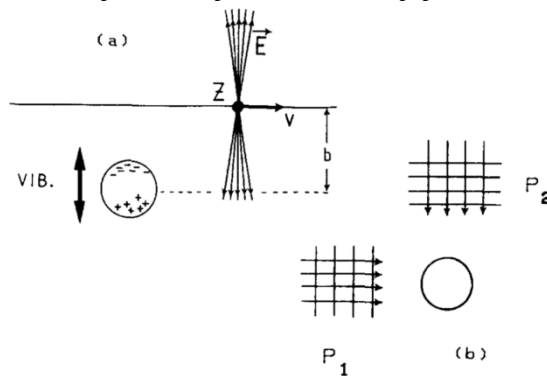


- **Typy srážek**

Srážky pozorované na detektoru ALICE se dělí do tří skupin. První podskupina jsou takzvané srážky centrální, kde dochází k přímým srážkám jednotlivých jader atomů. Při takovýchto srážkách dochází ke vzniku kvark-gluonového plazmatu, z kterého vznikne velké množství nových částic. Druhou skupinu tvoří tzv. srážky periferální, při kterých do sebe jádra olova narážejí jen okrajově, ovšem i zde dochází k vytvoření kvark-gluonového plazmatu a množství nových částic. Třetí skupinou, kterou se zabýváme my, jsou srážky ultra-periferální, při kterých dochází k těsnému minutí jader olova a pouze interakcí elektromagnetického pole jader, při kterém do sebe narážejí ve velkých energiích fotony.

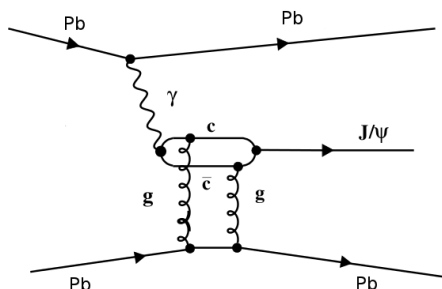
- **Ultra-Periferální srážka**

Při provádění pokusů s ultra-periferálními srážkami nejprve dochází k urychlení jader olova na rychlost blízkou c (rychlost světla). Urychleny jsou dva paprsky jader letící protichůdně v oddělených trubicích urychlovače a poté při dosažení dostatečné energie jsou nasměrovány v detekčních centrech (ALICE, ATLAS...), proti sobě. Tímto docílíme srážek pouze v místech, kde je to žádoucí a můžeme tyto srážky pozorovat. Při tomto druhu srážek se jádra olova míjejí s vzájemnou vzdáleností větší než součet jejich poloměrů. Je tak vyloučena silná interakce a může se srazit foton s fotonem, nebo foton s jádrem. K těmto srážkám může docházet právě proto, že elektromagnetické pole kolem jádra olova se s jeho stále se zvětšující rychlostí deformuje. V počáteční fázi je elektromagnetické pole kolem jádra homogenní, tedy rovnoměrně rozložené do všech směrů od jádra. Ovšem s přibývajícím rychlostí se pole začne deformovat v důsledku kontrakce délek vycházející ze speciální teorie relativity, do té míry, že při výsledné rychlosti blízké rychlosti světla je pole natolik zdeformované, že se koncentruje ve směru kolmém na směr pohybu. Pro samotné jádro olova se pak tyto srážky jeví jako pulzy rovinného záření díky vysoké rychlosti, jakou se jádra olova míjejí.



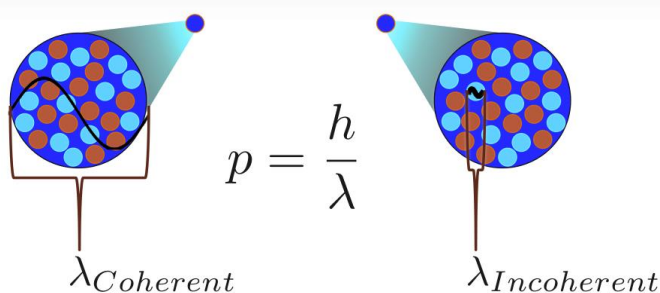
- **Fotojaderné reakce**

Při ultra-periferálních srážkách vnikají nové částice, nebo dvojice leptonů. Pokud vyzářený foton z jádra olova vytvoří dvojici virtuálního kvarku a antikvarku, tak tyto částice mohou silně interagovat s jádrem, či nukleonem, a vytvořit novou částici zvanou J/ψ .



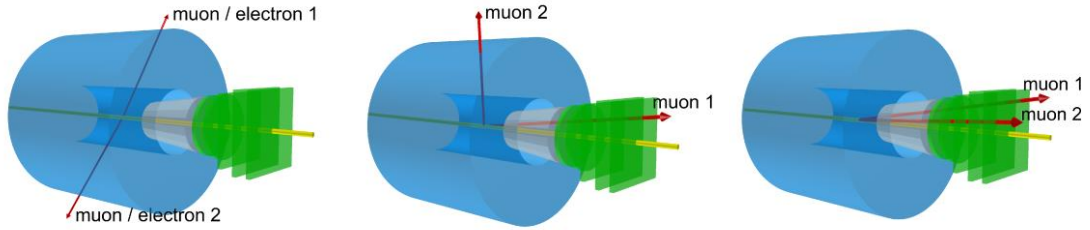
- **Možnosti interakce**

První možností, jak mohou tyto částice interagovat, je tzv. koherentní, při které foton reaguje s celým jádrem olova. Touto reakcí jsme se zabývali i my. Druhou možností jsou interakce fotonu s jádrem, při kterých foton reaguje pouze s jedním nukleonem (protonem, nebo neutronem), taková reakce se nazývá nekoherentní a tyto srážky jsme se snažili v našich měřeních vyloučit korekcemi softwaru. Rozdíl mezi těmito interakcemi je hlavně pak v hybnosti vzniklé částice J/ψ . Při koherentní fotoprodukcí je hybnost výsledné částice podstatně nižší, než hybnost částice vzniklé z nekoherentní fotoprodukcí.



- **Detekce J/ψ**

Částice J/ψ má velmi krátkou dobu života (7.2×10^{-21} s). Po uplynutí této doby se částice nejčastěji rozpadá na lehčí hadrony, či méně pravděpodobně na dvojici elektron/pozitron, nebo dvojici mion/antimion. Právě detekcí vzniklých mionů zkoumáme přítomnost a vlastnosti J/ψ . Směr jakým se miony uvolní z původního J/ψ může být velmi rozdílný. První z možností je tzv. Centrální směr, kdy miony cestují v prakticky kolmém směru na původní dráhu J/ψ a tyto miony je schopen zachytit pouze centrální detektor. Další možností je tzv. Kvazi-dopředný směr, kdy jeden z dvojice mionů letí v kolmém směru na původní dráhu a druhý letí pouze s malou odchylkou od původního směru. Poslední možností je tzv. Dopředný směr, kde oba miony letí s odchylkami téměř v původním směru J/ψ a jsou je schopny zachytit mionové detektory nacházející se za železo-betonovým stínítkem, kterým jiné detekovatelné částice, než miony, nejsou schopny projít.

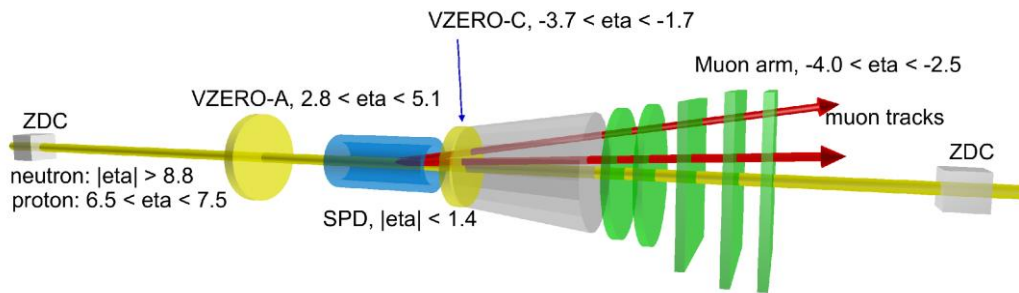


- **Rapidita**

Rapidita je veličina, která udává odchylku od směru kolmého ke směru pohybu svazku. Jestliže chceme jen ty miony, které projdou stínítkem a jsou detekovány v mionovém detektoru, pak musíme limitovat hodnoty rapidity mezi -4 až -2.5.

- **Pseudorapidita**

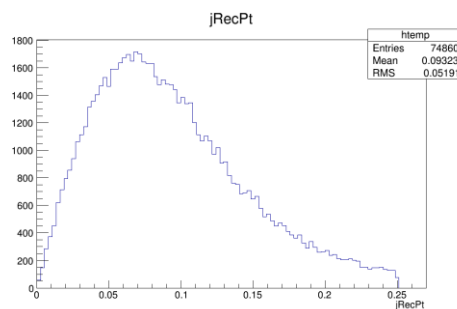
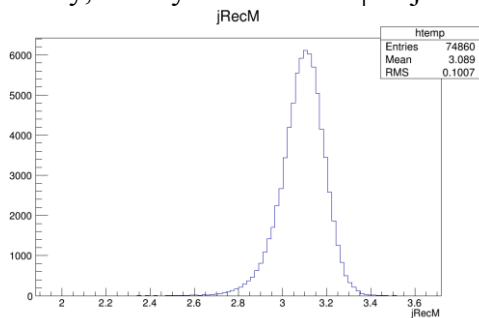
Přímo závisí na směru pohybu částice, je dán úhlem od kolmice ke svazku. Když je hybnost mnohem větší než hmotnost, pak je pseudorapidita rovna rapiditě.



- **Měření**

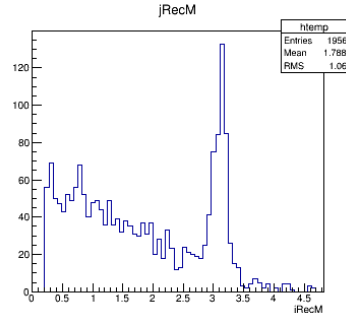
Porovnáváme simulovaná data se skutečnými daty z CERNu. Abychom vybrali konkrétní ultra-periferální srážky, kdy vznikla částice J/ψ , musíme data roztřídit podle odpovídajících parametrů (hmotnost, hybnost, rapidita, pseudorapidita).

Hodnoty parametrů nastavujeme podle simulací. Na obrázcích jsou vidět hodnoty, kde bychom měli J/ψ najít.



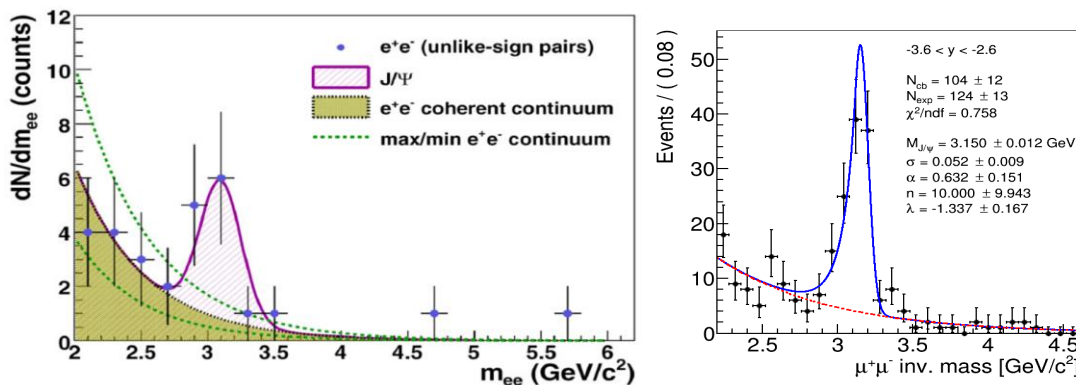
- **Nastavení softwaru**

Pro třídění dat použijeme program, který zkontroluje všechny srážky zaznamenané detektorem, ty s odpovídajícími vlastnostmi nám vybere a my je můžeme zpracovat. Na obrázku je jasně viditelný pík u klidové hmotnosti 3,1 GeV. To odpovídá simulaci.



- **Výsledky**

Výstupy našeho miniprojektu jsou graf počtu částic v závislosti na hmotnosti a účinný průřez reakce.



Vlevo vidíme předešlé měření se svazky zlata (2009). Vpravo je graf, který je výstupem naší práce. Grafy jsou podobné, z toho usuzujeme, že náš výsledek je správný.

$$\frac{d\sigma}{dy} = \frac{N_{J/\psi}^{coh}}{\epsilon * \epsilon_{trig} * \mathcal{B} * \mathcal{L} * \Delta y}$$

$$\frac{d\sigma_{theo}}{dy} = \frac{\sigma_{tot} * R_y}{\Delta y}$$

Vlevo je vztah pro výpočet účinného průřezu reakce (pravděpodobnost, že k reakci dojde), ze kterého spočítáme účinný průřez reakce ze skutečných dat. Vpravo se nachází vztah pro výpočet teoretického účinného průřezu reakce, ten vychází ze simulace. Naše výsledky porovnááme s výsledky modelu STARLIGHT, který nepředpokládá gluonové stínění. Jestliže $\frac{d\sigma}{dy} < \frac{d\sigma_{theo}}{dy}$ pak gluonové stínění existuje. Z naměřených dat jsme spočítali $\frac{d\sigma}{dy} = 1,2 \pm 0,1$ mb. To je méně než vychází z modelu STARLIGHT, tedy $\frac{d\sigma_{theo}}{dy} = 1,8$. Tím pádem je gluonové stínění potvrzené.

3 Shrnutí

Při práci s daty jsme se nejdříve snažili oddělit správná data od přebytečných výsledků, které se neshodovaly s námi požadovanými parametry. Z celkového počtu 3 000 000 srážek jsme se tedy postupnou specifikací parametrů dostali až na hodnotu 250 vyhovujících srážek a z těch jsme vyvodili závěr, že gluonové stínění existuje.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu supervizorovi Jaroslavu Adamovi za odborný dohled. Dále děkujeme organizátorům Týdnu vědy a ČVUT za poskytnutí příležitosti a prostoru pro provedení naší práce.

Reference:

ADAM, Jaroslav. ČVUT. *Srážky světla na LHC*. Praha, 2015.